

Modifikasi Desain Sistem Ventilasi Kamar Mesin KMP. Tanjung Sole

Hario Pramudito, Alam Baheramsyah, Ede Mehta Wardhana
Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: alam@its.ac.id

Abstrak— KMP. Tanjung Sole merupakan salahsatu kapal (*sister ships*) yang dibangun untuk melayani rute pelayaran di wilayah Timur Indonesia. Tidak seperti *sister ship*-nya, pada saat KMP. Tanjung Sole beroperasi terjadi kenaikan temperatur udara kamar mesin yang melebihi ambang batas persyaratan yaitu di atas 45 °C. Perbedaan KMP. Tanjung Sole dengan *sister ship*-nya hanyalah pada tata letak permesinan di dalam kamar mesin dan desain *ducting* dari sistem ventilasi kamar mesin. Untuk mencari solusi permasalahan dari KMP. Tanjung Sole tersebut maka dilakukan evaluasi dan simulasi beberapa alternatif desain serta tata letak *ducting* sistem ventilasi kamar mesin kapal tersebut. Simulasi dilakukan dengan pendekatan CFD (*Computational Fluid Dynamic*) guna menganalisa sebaran temperatur dan aliran udara ventilasi di dalam kamar mesin, baik sebelum dilakukan perubahan desain ventilasi maupun sesudahnya. Ada tiga alternatif desain sistem ventilasi yang ditawarkan dan dikaji. Dari hasil simulasi yang dilakukan untuk sistem ventilasi terpasang di KMP. Tanjung Sole diperoleh data distribusi temperatur rata-rata udara di dalam kamar mesin adalah sebesar 54,3 °C – mendekati kondisi riil di kapal. Setelah dilakukan perbaikan desain *ducting* sistem ventilasi maka dengan menggunakan desain alternatif atau variasi 1 temperatur udara di kamar mesin turun menjadi 47,6 °C. Adapun pada variasi 2 dan variasi 3 temperatur udara kamar mesin KMP. Tanjung Sole turun menjadi 43,5 °C yang mana ini berarti sudah memenuhi persyaratan. Perbedaan dari variasi 3 dengan variasi 2 hanya pada adanya *ducting* penghubung dan *dampers* antara sistem ventilasi sisi kanan dengan sisi kiri kamar mesin yang mana masing-masing disuplai oleh satu fan. Hasil kajian menunjukkan alternatif sistem ventilasi yang paling baik digunakan untuk mengatasi permasalahan temperatur udara kamar mesin KMP. Tanjung Sole adalah model variasi ke-3.

Kata Kunci—CFD, Kapal Feri, Kamar Mesin, Sistem Ventilasi, Ducting

I. PENDAHULUAN

SISTEM udara ventilasi di kamar mesin kapal berperan penting dalam memenuhi standar kesehatan orang bekerja, ketersediaan udara pembakaran, kecukupan udara untuk menetralkan panas permesinan serta memenuhi standar peraturan badan klasifikasi kapal. Pengaturan atau desain dalam sistem ventilasi serta *ducting* meliputi penentuan jumlah *fan/blower* dan juga kapasitas *fan/blower* tersebut. Udara dari *fan/blower* ini kemudian didistribusikan ke dalam kamar mesin melalui sistem *ducting*. Ujung-ujung luaran dari *ducting* harus diatur penempatannya sedemikian rupa sehingga udara ventilasi yang dihisap dari luar oleh fan dapat mencapai semua bagian kamar mesin sehingga tidak ada bagian udara di dalam kamar mesin yang tidak bersirkulasi. Berdasarkan ISO 8861:1998 tentang “*Shipbuilding, Engine-Room Ventilation In Diesel, Engined Ships, Design Requirements And Basis Of Calculations*” untuk kondisi

desain sistem ventilasi udara kamar mesin, suhu lingkungan udara luar adalah +35 °C dengan RH 70 % dan tekanan 101,3 kPa [1]. Kenaikan suhu dari udara suplai yang masuk ke dalam kamar mesin sampai dengan kemudian akan dikeluarkan melalui selubung atau funnel keluar kapal adalah sekitar +12,5 K. Dengan kata lain menurut standar ISO besarnya temperatur udara di dalam kamar mesin kapal adalah 47,5 °C. Sedangkan menurut Biro Klasifikasi Indonesia [2] kondisi yang dipersyaratkan pada kamar mesin yang berisi mesin, peralatan dan alat-alat bantu lainnya dan dioperasikan pada kondisi kerja di daerah tropis maka suhu udara di dalam kamar mesin sebaiknya dijaga tidak lebih dari 45 °C.

Pada kenyataannya saat KMP Tanjung Sole beroperasi ternyata temperatur udara di dalam kamar mesin jauh melebihi 45 °C dan hal ini sangat dikeluhkan oleh para ABK yang bekerja di dalam kamar mesin. Sehubungan dengan hal itu maka beberapa desain alternatif *ducting* untuk sistem ventilasi udara kamar mesin di KMP. Tanjung Sole dikaji serta disimulasikan dengan menggunakan pendekatan CFD. Ada tiga variasi desain *ducting* yang coba ditawarkan.

II. DATA KAPAL DAN PERMESINAN

Data Utama Kapal

Panjang kapal	: 45,5 meter
Lebar	: 12 meter
Tinggi	: 3,2 meter
Tinggi garis air	: 2,15 meter
Mesin utama	: 2 x 829 HP
Kecepatan	: 12 <i>Knots</i>
Awak kapal	: 20 orang
Penumpang	: 184 orang
Kendaraan	: 12 truk, 8 sedan
Kelas	: BKI

Data Mesin Utama dan Mesin Bantu

Mesin Utama [3] dan Mesin Bantu [4] yang paling besar menghasilkan panas di kamar mesin adalah :

1. Mesin Utama
Tipe : Yanmar 6AYM-WET
Jumlah silinder : 6 silinder
Daya : 610 KW = 818,023 HP
Putaran : 1900 RPM
2. Mesin Bantu
Tipe : Perkins 1000- 6TG2AM
Jumlah silinder : 6 silinder
Daya : 110 KW = 147 HP
Putaran : 1500 RPM



Gambar. 1. KMP Tanjung Sole

Tabel 1.

Peralatan di kamar mesin		
No.	Part name	total
1	Mesin Utama	2
2	Mesin Bantu	2
3	Pompa Air Laut	2
4	Pompa Pemadam Kebakaran	1
5	Pompa Sanitari	1
6	Pompa Air Tawar	1
7	Pompa Tinja	1
8	Kompresor	1
9	Pompa <i>Hydrophore</i>	1

Spesifikasi Fan/Blower

Sistem ventilasi udara kamar mesin KMP. Tanjung Sole menggunakan 2 (dua) buah *blower* [5] yang masing-masing menyuplai aliran udara untuk ducting bagian/sisi kanan dan bagian kiri dalam kamar mesin. Adapun spesifikasi nya yaitu:

Tipe : Hartzell 44VM_606DA_STAIU4

Daya : 44,19kW

Kapasitas : 87179 CFM = 41,1439 m³/s

Tekanan : 1 inch SP 248,6 Pa

HP : 60 HP

RPM : 1175 RPM

Rute Pelayaran

KMP Tanjung Sole melayani rute perintis di Maluku untuk lintas Namlea – Manipa – Waisala dan lintas Saumlaki – Adaut – Letwurung.

III. HASIL DAN ANALISA

Perhitungan Komponen Penghasil Panas

1. Perhitungan Beban Panas Yang Dihasilkan Mesin

Di dalam kamar mesin terdapat mesin utama dan juga mesin bantu yang menghasilkan panas paling besar dikarenakan merupakan komponen utama dari penggerak kapal. Perhitungan dilakukan berdasarkan pada saat kapal menggunakan balingan penuh. Adapun perhitungan beban panas yang dihasilkan oleh mesin utama dan mesin bantu adalah :

- a) Panas yang dibebaskan oleh mesin utama, yaitu:

$$Q = 0,02 \text{ Ne} \times g_c \times Q_f$$

$$Q = 0,02 \times 818,023 \times 0,152 \times 10100 = 20655,08 \text{ kkal/jam} \Rightarrow 1522,006 \text{ watt/m}^2$$

Tabel 2.

Data hasil perhitungan panas yang dibebaskan oleh peralatan

Komponen	Daya		η	Panas Yang Dihasilkan		
	KW	HP		Kkal/jam	Kal/detk	watt
Pompa Pemadam Kebakaran Kompresor	75	100.5	0.9	9454.23	2626.18	10985.50
Pompa Air Laut	15	20.1	0.9	1890.83	525.23	2197.09
Pompa Air Tawar	37	49.61	0.9	4664.07	1295.57	5419.49
Pompa Sanitari	7.5	10.05	0.9	945.42	262.61	1098.55
Pompa Tinja	4	5.36	0.9	504.22	140.06	585.89
<i>Hydrophore</i>	2.2	2.95	0.9	277.32	77.03	322.24
	11	14.75	0.9	1386.61	385.17	1611.19

- b) Panas yang dibebaskan oleh mesin bantu, yaitu:

$$Q = 0,02 \text{ Ne} \times g_c \times Q_f$$

$$Q = 0,02 \times 112 \times 0,157 \times 10100 = 3551,968 \text{ kkal/jam} \Rightarrow 316,423 \text{ watt/m}^2$$

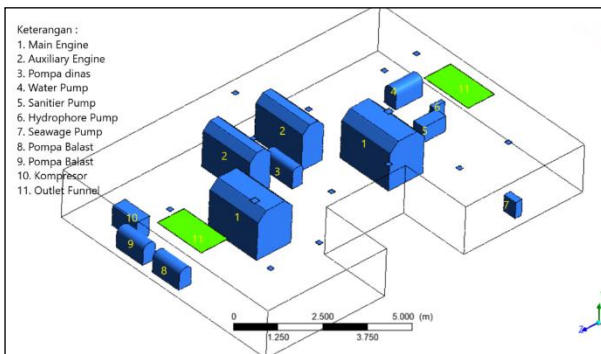
2. Perhitungan Beban Panas Komponen Lainnya

Selain mesin utama dan mesin bantu, terdapat beberapa komponen yang berada di dalam kamar mesin yang juga menghasilkan panas, dengan menggunakan rumus $Q = 864 \times N \times [(1-\eta)/\eta]$ maka berikut hasil perhitungan beban panas dari komponen-komponen tersebut :

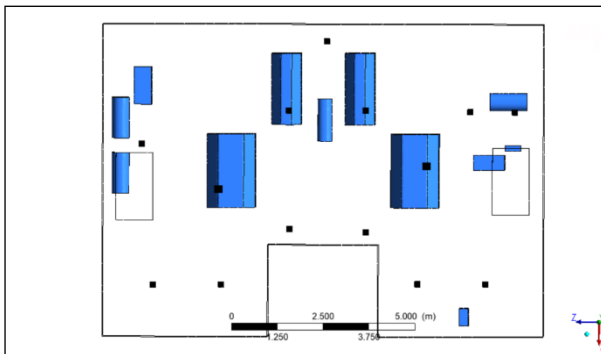
Pembuatan Model Simulasi

Untuk keperluan melakukan analisa sistem ventilasi yang paling optimal di kamar mesin KMP. Tanjung Sole, maka dilakukan pembuatan model 3D dari desain ventilasi udara dan juga desain model kamar mesin baik sebelum di lakukan variasi, maupun sesudah dilakukan variasi. Permodelan dilakukan menggunakan bantuan *solidworks* dan *ansys modeller*. Kajian atau analisa dilakukan untuk beberapa kondisi sebagai berikut.

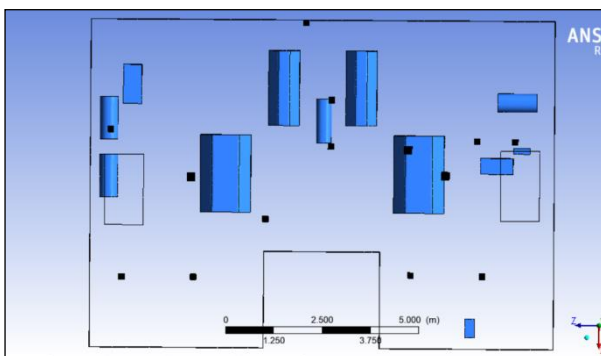
1. Pembuatan desain ventilasi udara sebelum divariasi
2. Variasi 1: Merubah aliran *output* atau luaran udara ventilasi menjadi di samping mesin atau komponen dari sebelumnya yang langsung diatas mesin atau komponen.
3. Variasi 2 : Sama dengan variasi pertama namun ditambah dengan merubah ukuran percabangan kedua menjadi 250x250 hingga percabangan *output* udara dari sebelumnya terdapat 3 varian 350x200, 250x150 dan 150x150, penyeragaman tersebut harus dilakukan agar udara tersebar secara maksimal.
4. Sama dengan variasi 1 dan 2 , kemudian ditambah dengan menggabungkan aliran kedua *blower* menjadi satu aliran dengan ventilasi udara yang saling terhubung, hal ini dilakukan untuk memaksimalkan aliran udara dan juga menjawab kekhawatiran jika salah satu *fan blower* mati maka



Gambar 2. Model 3D Geometri Kamar Mesin Beserta Peralatannya



Gambar 3. Posisi Outlet Ducting Sebelum Di Modifikasi



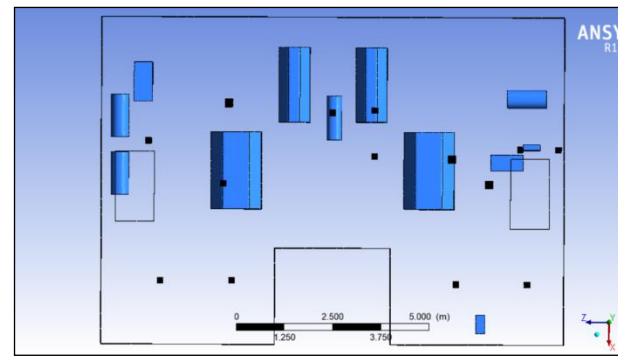
Gambar 4. Posisi Outlet Ducting Variasi-1

ventilasi udara bisa dialiri oleh satu *blower* ke semua rangkaian.

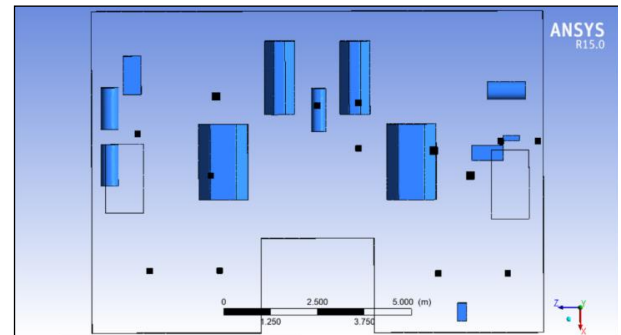
Simulasi Sistem Ventilasi Udara Kamar Mesin

Setelah didapatkan hasil simulasi dari sistem ventilasi awal yaitu berupa kecepatan aliran udara di tiap-tiap ujung saluran udara atau outlet. Maka tahap selanjutnya adalah memasukkan nilai-nilai tersebut kedalam simulasi kamar di dalam kamar mesin tersebut. Input simulasi tahap kedua ini berupa nilai panas yang dihasilkan dari tiap mesin dan peralatan yang telah dihitung sebelumnya, bentuk geometri kamar mesin, bentuk geometri saluran udara dan nilai *output* dari simulasi model awal sebelum dilakukan variasi. Variabel yang akan diambil pada hasil keluaran (*visualisation*) dari simulasi ini adalah distribusi suhu, distribusi tekanan, dan kecepatan aliran udara.

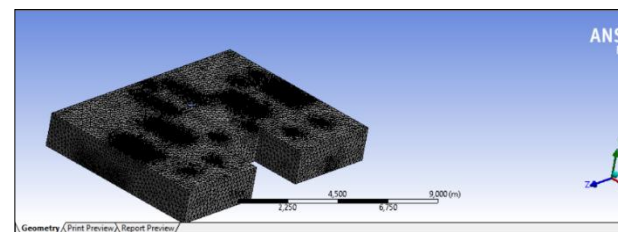
1. *Pre-processor* dalam setiap sub-bagiannya untuk model kamar mesin, dalam simulasi model kamar mesin kondisi yang diberikan dalam keadaan *steady state* dengan metode yang di gunakan SST. Adapun tahapannya antara lain :



Gambar 5. Posisi Outlet Ducting Variasi-2



Gambar 6. Posisi Outlet Ducting Variasi-3



Gambar 7. Hasil Mesh Kamar Mesin

a) *Meshing*

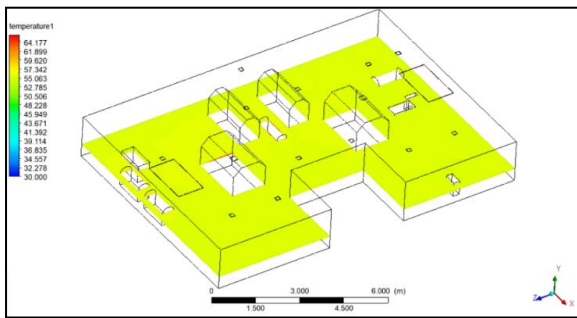
Model *grid* yang digunakan adalah tetrahedral. Dari ukuran yang telah diberikan diperoleh jumlah node sebanyak 175622, jumlah elemen dengan bentuk tetrahedral sebanyak 928060. Berikut adalah hasil *meshing* dari model kamar mesin:

b) *Fluid Domains*

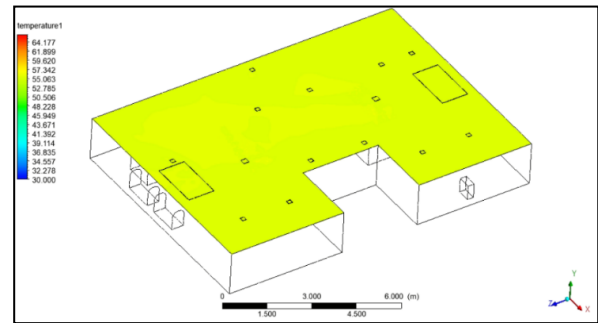
Fluid Domains digunakan untuk menentukan jenis fluida yang digunakan dalam simulasi, menentukan kondisi masing-masing partisi geometri, menginisialisasi kondisi geometri juga menentukan sub-domain fluida.

c) *Boundary condition*

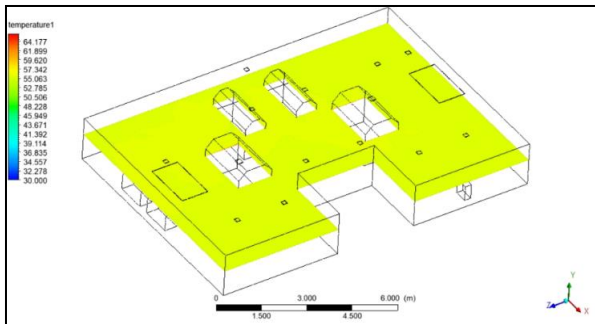
Boundary condition yang digunakan pada kamar mesin sebagai inputan untuk inlet adalah kecepatan aliran udara dari masing-masing *outlet ducting* kanan dan kiri yang telah disimulasikan pada tahap pertama, model *heat transfer* untuk *inlet* ini menggunakan *static temperature* 30°C karena temperatur udara pada saat kapal berjalan dipermukaan air laut berdasarkan standar BKI, IACS dan ISO adalah maksimum sekitar 32°C, pada mesin dan peralatan diberi batasan *wall* dengan *type no slip* karena permukaan mesin dan peralatan diasumsikan kasar dan mempunyai nilai *heat flux* berdasarkan nilai panas persatuan luas yang telah dihitung sebelumnya, untuk seluruh bagian atas, bawah, tengah dan wadah kamar mesin diberi *wall* dengan tipe *free slip* dan dengan tekanan konstan tidak ada *heat flux* sedangkan untuk



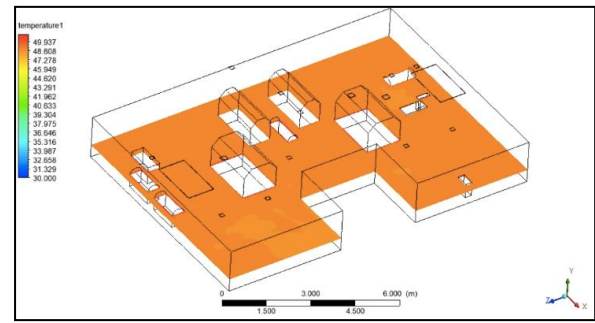
Gambar 8. Kondisi suhu kamar mesin sebelum variasi (0,5 meter)



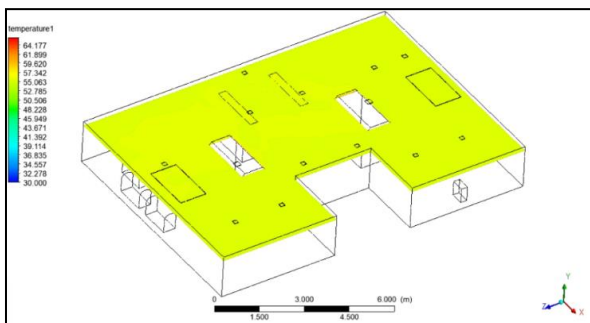
Gambar 11. Kondisi suhu kamar mesin sebelum variasi (2 meter)



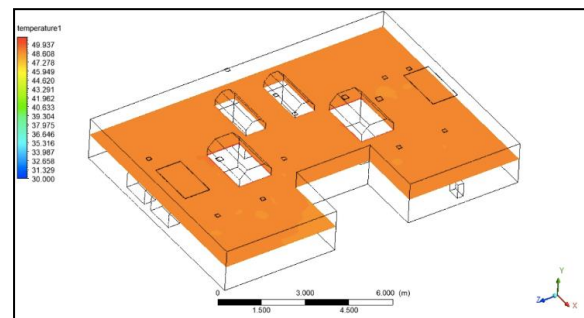
Gambar 9. Kondisi Suhu Kamar Mesin Sebelum Variasi (1 Meter)



Gambar 12. Kondisi Suhu Kamar Mesin Variasi 1 (0,5 Meter)



Gambar 10. Kondisi Suhu Kamar Mesin Sebelum Variasi (1,5 Meter)



Gambar 13. Kondisi suhu kamar mesin variasi 1 (1 meter)

outlet pada kamar mesin ini berupa saluran *exhaust funnel* yang dibiarkan terbuka dengan *boundary conditions* berupa *pressure outlet* dengan nilai tekanan awal bernilai 0 Pa karena udara yang disirkulasikan ke kamar mesin melalui ujung-ujung *outlet* saluran udara berasal dari udara kondisi lingkungan dengan tekanan atmosfer.

2. *Solver* dalam setiap sub-bagiannya untuk model kamar mesin, yaitu :

a. *Solver Control*

Pada tahap *solver control* ini dapat menentukan banyaknya step iterasi. Penentuan step ini akan mempengaruhi lama dari *solver* dalam melakukan perhitungan. Pada simulasi model kamar mesin banyaknya *maximum step* iterasi yang digunakan sebesar 2000 dengan *timescale control* yaitu *auto timescale*, *convergence criteria* yang digunakan RMS dengan *residual target* sebesar $1.e-4$. Menurut AEA *technology* tahap verifikasi dalam menentukan berhasil atau tidaknya simulasi selama proses perhitungan dengan pendekatan CFD dilakukan dengan tahapan yaitu konvergen.

b. *Definition File*

Definition file berisi semua informasi yang diperlukan oleh *solver* untuk mendefinisikan simulasi CFD. Tahap ini juga mendeteksi kesalahan input yang terdapat pada model sebelum dimasukkan ke *solver*. Gambar di bawah ini merupakan contoh hasil *solver* untuk ventilasi awal sebelum variasi.

3. Tahap terakhir yaitu *post-processor* yang merupakan *result file* hasil dari simulasi yang telah dilakukan, berupa gambar (*visual*) atau berupa data-data numerik (angka).

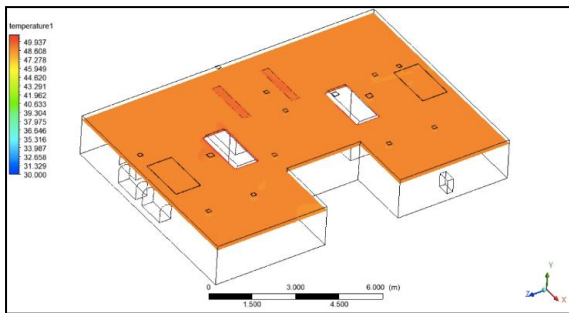
Hasil Simulasi Suhu

1. Sebelum Divariasi

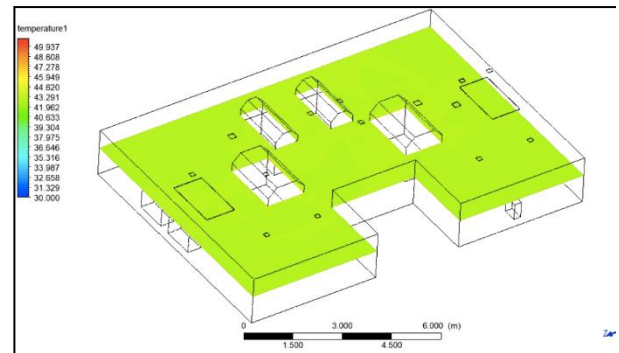
Dari gambar di atas yang merupakan hasil simulasi dapat diketahui bahwa kondisi suhu rata-rata di kamar mesin adalah sebesar $54,3^{\circ}\text{C}$ pada ketinggian 0,5 meter, sebesar $54,58^{\circ}\text{C}$ pada ketinggian 1 meter, sebesar $54,21^{\circ}\text{C}$ pada ketinggian 1,5 meter, dan sebesar $54,2^{\circ}\text{C}$ pada ketinggian 2 meter.

2. Variasi 1

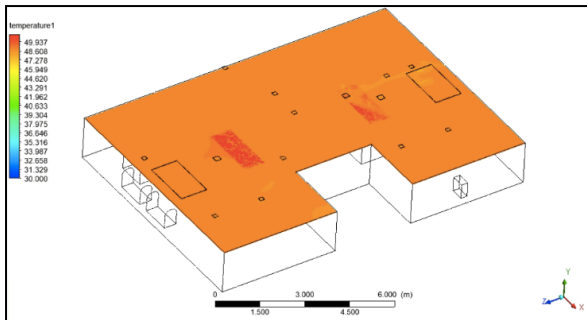
Dari gambar hasil simulasi untuk variasi 1 di atas dapat diketahui bahwa kondisi suhu pada kamar mesin sebesar $47,5^{\circ}\text{C}$ pada ketinggian 0,5 meter, sebesar $47,8^{\circ}\text{C}$ pada ketinggian 1 meter, sebesar $47,65^{\circ}\text{C}$



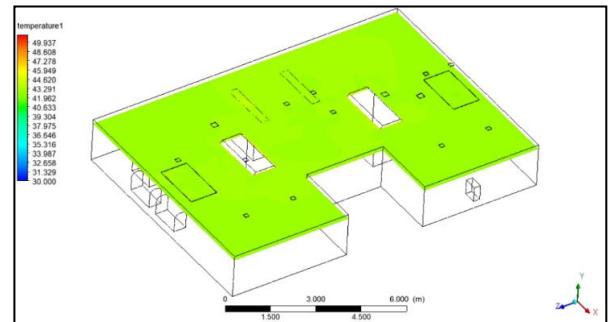
Gambar 14. Kondisi suhu kamar mesin variasi 1 (1,5 meter)



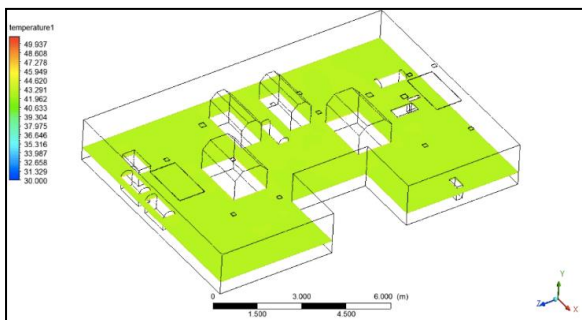
Gambar 17. Kondisi suhu kamar mesin variasi 2 (1 meter)



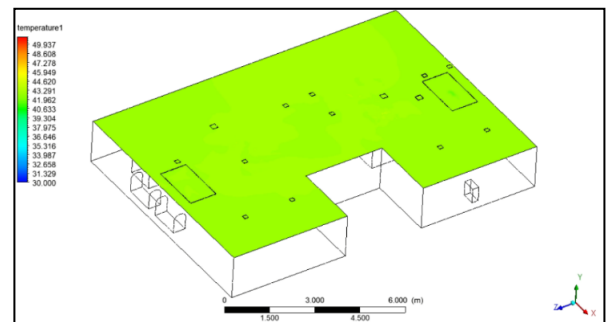
Gambar 15. Kondisi suhu kamar mesin variasi 1 (2 meter)



Gambar 18. Kondisi suhu kamar mesin variasi 2 (1,5 meter)



Gambar 16. Kondisi suhu kamar mesin variasi 2 (0,5 meter)



Gambar 19. Kondisi suhu kamar mesin variasi 2 (2 meter)

pada ketinggian 1,5 meter, dan sebesar 47,45 °C pada ketinggian 2 meter.

2. Variasi 2

Hasil simulasi untuk variasi 2 pada gambar di atas menunjukkan bahwa suhu rata-rata di kamar mesin variasi 2 yaitu sebesar 43,36 °C pada ketinggian 0,5 meter, sebesar 43,6 °C pada ketinggian 1 meter, sebesar 43,55 °C pada ketinggian 1,5 meter, dan sebesar 43,3°C pada ketinggian 2 meter.

3. Variasi 3

Hasil simulasi variasi 3 sama dengan variasi 2 oleh karena tidak ada perbedaan yang signifikan dalam tata letak outlet ducting maupun besaran debit aliran udara ventilasinya.

Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Udara

1. Hasil simulasi kecepatan aliran udara sebelum divariasi

Gambar 20 adalah kondisi *streamline* dari aliran udara yang terjadi di kamar mesin sebelum dilakukan variasi, adapun rata-rata kecepatan aliran udara nya yaitu sekitar 9,96 m/s, aliran udara dari *inlet* ujung-ujung saluran udara mengarah ke *exhaust funnel* untuk di buang.

2. Hasil simulasi kecepatan aliran udara Variasi 1

Gambar 21 adalah kondisi *streamline* dari aliran udara yang terjadi di kamar mesin variasi 1, adapun rata-rata kecepatan aliran udara nya yaitu sekitar 12,48 m/s.

3. Hasil simulasi kecepatan aliran udara Variasi 2

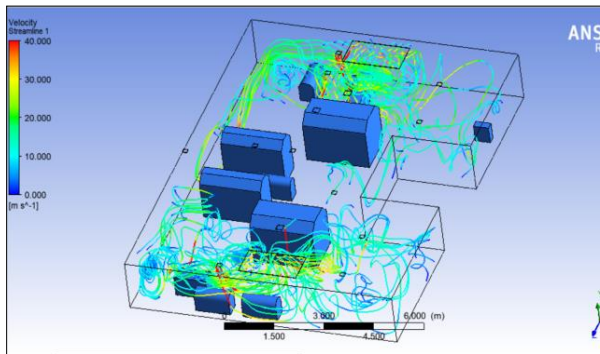
Gambar 22 adalah kondisi *streamline* dari aliran udara yang terjadi di kamar mesin variasi 2, adapun rata-rata kecepatan aliran udara nya yaitu sebesar 15,2 m/s.

IV. KESIMPULAN

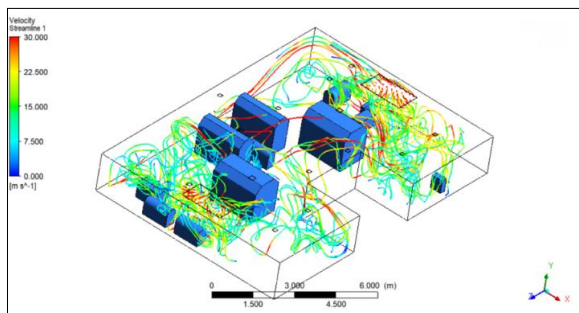
Dari hasil perubahan desain ducting atau saluran udara didapatkan perubahan suhu rata-rata dari kondisi awal sebesar 54,3 °C menjadi 47,65 °C pada variasi 1, dan sebesar 43,55 °C pada variasi 2 serta variasi 3.

Nilai kecepatan aliran udara *streamline* rata-rata mengalami kenaikan, berbanding terbalik dengan penurunan suhu ruangan.

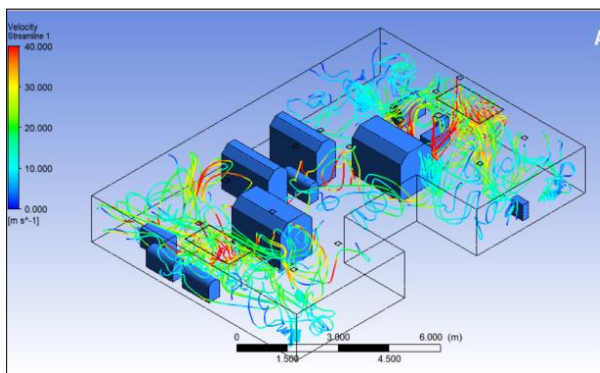
Desain ducting Variasi 3 adalah desain yang paling baik karena dapat menjaga temperatur udara di dalam kamar mesin KMP Tanjung Sole berada di bawah batas maksimum temperatur yang direkomendasikan oleh badan klasifikasi kapal.



Gambar 21. Kondisi kecepatan aliran udara kamar mesin variasi 1



Gambar 20. Kondisi kecepatan aliran udara kamar mesin sebelum divariasi



Gambar 22. Kondisi kecepatan aliran udara kamar mesin variasi 2

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ISO, *ISO 8861:1998, Shipbuilding — Engine-room ventilation in diesel-engined ships — Design requirements and basis of calculations*. ISO.
- [2] B. Indonesia, I. V.-V. I. R. F. H. Edition, and undefined 2009, "Rules for the classification and construction of seagoing steel ships."
- [3] Yanmar, *Spesifikasi Mesin Yanmar 6AYM-WET*. 2000.
- [4] Perkins, "Perkins Marine Power," 2015. [Online]. Available: https://www.perkins.com/en_GB/products/sectors/marine.html.
- [5] China Classification Society, "Rules for the classification and construction of seagoing steel ships," *CSS*, 2016. .